

ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН УССР

ХФТИ 83-30

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
КОНВЕРСИИ ФОНОНОВ НА ПОЗИТРОНАХ
С ЭНЕРГИЕЙ $E=1035$ МэВ В АЛМАЗЕ

Харьков 1983

УДК 539.12.124.6:539.172.3

Антипенко А.П., Адейшвили Д.И., Бочек Г.Л., Болдышев В.Ф.,
Витько В.И., Горбенко В.Г., Жебровский Ю.В., Коваленко Г.Д.,
Колесников Л.Я., Рубашкин А.Л., Шраменко Б.И., Шербак С.Ф.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ КОНВЕРСИИ ФОНОНОВ
НА ПОЗИТРОНАХ С ЭНЕРГИЕЙ $E=1035$ МэВ В АЛМАЗЕ.

Препринт ХФТИ АН УССР, ХФТИ 83-30, Харьков, 1983, 5 с.

Измерена спектральная плотность излучения позитронов с энергией 1035 МэВ в кристалле алмаза в диапазоне энергий гамма-квантов, где проявляются частоты, обусловленные конверсией фононов. Показано совпадение положения наблюдаемых максимумов в спектральных плотностях излучения позитронов с предсказаниями теории конверсии фононов на релятивистских заряженных частицах. (1 ил., список лит. - 7 назв.).

Эффект электромагнитной конверсии фононов на релятивистских заряженных частицах, теоретически предсказанный в работах [1,2] и использованный там же для объяснения тонкой структуры ранее измеренных [3,4] спектров излучения позитронов с энергией 10 ГэВ в кристаллах алмазе и кремния не может считаться окончательно подтверждённым экспериментально. До настоящего времени не проверена квадратичная зависимость частот электромагнитного излучения от энергии релятивистской частицы, характерная для конверсии фононов в γ -кванты, и отсутствуют детальные измерения спектров излучения в нужной области частот для других ориентаций кристалла.

Согласно теоретическим представлениям [1,2] максимумы, обусловленные конверсией фононов, должны наблюдаться в спектрах излучения релятивистских заряженных частиц с энергиями:

$$E_{\gamma} = \frac{2E^2}{m^2} \left(1 - \frac{2E\Omega_i}{m^2} \right) \Omega_i, \quad (1)$$

где Ω_i - фононные частоты в критических точках фононной плотности; E - энергия релятивистской частицы; m - масса электрона.

При движении частицы вдоль плоскости $(h \times \ell)$ кристалла конвертировать в γ -кванты вследствие взаимодействия с частицей могут фононы, имеющие квазиимпульс вдоль направления $[h \times \ell]$, поэтому для наблюдения характерных частот удобны ориентации вдоль плоскостей или направлений высокой симметрии, так как эти направления содержат главные особенности фононной плотности. При ориентации пучка частиц в плоскости (100) может наблюдаться однофононная конверсия на частотах топологических особенностей в точках $[100] \frac{2\pi}{a}$ (a - постоянная решётки) зоны Бриллюэна, тогда как при ориентации пучка вдоль плоскости (110) возможна двухфононная конверсия суммарных и разностных частот в точках $[100] \frac{2\pi}{a}$ и $[010] \frac{2\pi}{a}$, или в точках $[111] \frac{\pi}{a}$ и $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}] \frac{\pi}{a}$. Во втором случае (в плоскости

(110)) однофононная конверсия этих частот невозможна.

Для анализа структуры спектров излучения ниже нами используются известные значения частот в критических точках зоны Бриллюэна алмаза, имеющие следующие значения:

$$\Omega_{t_0} = (1072 \pm 26) \text{ см}^{-1}; \quad \Omega_e = (1184 \pm 21) \text{ см}^{-1};$$

$$\text{в точке } [III] \frac{\pi}{a} : \Omega_{t_a} = (552 \pm 16) \text{ см}^{-1},$$

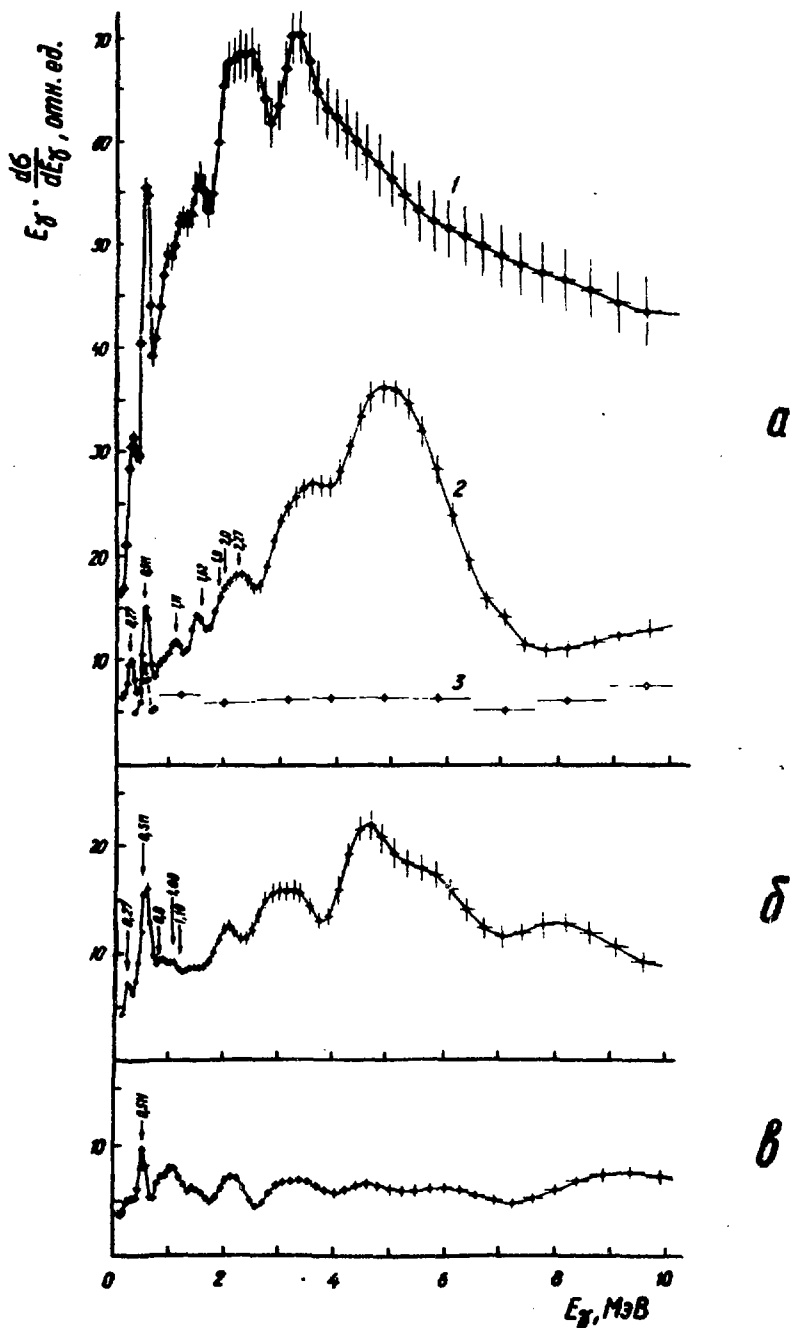
(t_0, t_a - поперечные оптические и акустические ветви, ℓ - продольная ветвь). Более высокие частоты в анализе не используются.

Настоящая работа посвящена измерению спектра излучения позитронов в области однофононной и двухфононной конверсии в алмазе при ориентациях пучка в кристалле в плоскостях (100), (110) и промежуточной ориентации вблизи плоскости (114) с целью проверки концепции электромагнитной конверсии в целом и, в частности, энергетической зависимости положения конвертированных частот, даваемого формулой (I). Эксперимент выполнен на пучке позитронов с энергией 1035 МэВ с энергетическим разбросом $\pm 1\%$ и расходимостью $= 2 \cdot 10^{-4}$ рад. Нами использовался монокристалл алмаза в виде пластинки толщиной 80 мкм, вырезанной в плоскости (110); при ориентировании кристалла ось [110] устанавливалась параллельно пучку позитронов.

Так как спектр фононов наиболее жёсткий для кристалла алмаза по сравнению с другими кристаллами, имевшимися у нас, использование кристалла алмаза позволило "вывести" конвертированные частоты в удобную для наблюдения энергетическую область: $> 0,2$ МэВ.

Измерение спектров излучения позитронов в указанной области производилось сцинтилляционным γ -спектрометром с разрешением 8% с использованием рассеяния гамма-квантов на угол 30° . Эта методика измерений описана в работах [5,6].

На рисунке приведены спектры излучения позитронов, направленных параллельно оси [110], плоскостям (110), (100) и под углом $5 \cdot 10^{-4}$ рад к плоскости (114). Обращает на себя внимание то, что на фоне спектра спонтанного излучения позитронов, обу-



Спектры излучения позитронов в кристалле алмаза: (а) I-ось [110]; (а) 2-плоскость (110); (а) 3-разориентированный кристалл; (б) -плоскость (100); (в) -возле плоскости (114). Пик с энергией 0,511 МэВ — аннигиляционные гамма-кванты, возникающие в рассеивателе.

словленного переходами между уровнями поперечного движения в межплоскостном потенциале [7] с характерным максимумом в области 4...6 МэВ имеется тонкая структура в области менее 4 МэВ, не наблюдавшаяся ранее. Стрелки на рис. 6 указывают значения энергии однофононной конверсии частот:

$$\Omega_{t_a} \left([100] \frac{2\pi}{a} \right), \Omega_{t_o} \left([100] \frac{2\pi}{a} \right) \text{ и } \Omega_e \left([100] \frac{2\pi}{a} \right).$$

Пик с энергией 0,27 МэВ, по-видимому, обусловлен разностной частотой $\Omega = \Omega_{t_o} - \Omega_{t_a}$. На экспериментальной кривой заметно, что проявляются пики с энергией 0,81 и 1,08 МэВ, отвечающие конверсии частот Ω_{t_a} и Ω_{t_o} . Стрелками на рис. а(2) указаны энергии гамма-квантов двухфононной конверсии (в порядке возрастания): 0,27 МэВ - разностная частота $\Omega_{t_o} - \Omega_{t_a}$; 1,11; 1,62; 1,9; 2,0; 2,27 МэВ - суммарные частоты соответственно $\Omega_{t_a} \left([111] \frac{\pi}{a} \right) + \Omega_{t_a} \left([111] \frac{\pi}{a} \right)$; $\Omega_{t_a} \left([100] \frac{2\pi}{a} \right) + \Omega_{t_a} \left([010] \frac{2\pi}{a} \right)$; $\Omega_{t_a} + \Omega_{t_o}$; $\Omega_{t_a} + \Omega_e$; $\Omega_{t_o} + \Omega_e$.

Следующие широкие максимумы на рис. а(2) и б вероятно обусловлены многофононной конверсией следующих порядков.

Структура спектра на рис. в, соответствующая движению позитронов вблизи плоскости $(11\bar{4})$, отличной от плоскостей высокой симметрии несколько отличается от структуры спектров рис. а и, по-видимому, обусловлена конверсией других частот в зоне Бриллюэна.

Соответствие расчётных и измеренных положений максимумов в спектрах излучения позитронов с энергией до 2 МэВ при ориентации плоскостей (100) и $(1\bar{1}0)$ параллельно направлению пучка позитронов подтверждает предсказанный в работах [1,2] механизм электромагнитной конверсии фононов на релятивистских частицах.

Авторы выражают благодарность Е.В.Инопину и В.И.Курилко за ценные обсуждения и интерес к работе.

Для заметок

ПРИКНИЖНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Болдышев В.Ф. Электромагнитная конверсия фотонов на релятивистских позитронах в кристаллах с центром инверсии.- УФЖ, 1982, т.27, № 10, с.1482-1484.
2. Болдышев В.Ф. Механизмы излучения релятивистских частиц в кристаллах.-Проблемы современной теоретической физики. Киев, Наукова думка, 1982,с.77-92.
3. Мирошниченко И.И., Мэрри Д.Д., Авакян Р.О., Фигут Т.Х. Экспериментальное исследование радиации релятивистских каналированных позитронов.-Письма в ЖЭТФ, 1979, т.29, вып.12, с.786-790.
4. Головатик В.М.,Иванченко И.М., Кадиров Р.Б. и др. Излучение позитронов с энергией 10 ГэВ в монокристалле кремния в процессе каналирования. Препринт ОИЯИ, Д1-81-592,Дубна, 1981.
5. Шраменко Б.И., Витько В.И., Гришаев И.А. Об увеличении интенсивности излучения ультрарелятивистских каналирующих позитронов в низкоэнергетичной области спектра.-Письма в ЖТФ, 1978, т.4, вып.23, с.1423-1426.
6. Витько В.И.Измерение спектров низкоэнергетичных фотонов в присутствии высокоэнергетичных фотонов.-Вопросы атомной науки и техники. Серия: Техника физического эксперимента. 1980, вып.2 (6), с.43-45.
7. Кумахов М.А. О возможности существования эффекте спонтанного излучения гамма-квантов релятивистскими каналированными частицами.- ДАН СССР, 1976, т. 230, № 5, с.1077-1080.

Александр Порфирьевич Антипенко, Дмитрий Ильич Адейшвили,
Георгий Леонидович Бочек, Валентин Федорович Боднишев, Валерий
Иванович Витько, Виктор Григорьевич Горбенко, Юрий Витальевич
Жебровский, Григорий Дмитриевич Коваленко, Леонид Яковлевич
Колесников, Александр Лейбович Рубашкин, Борис Иванович Шрамен-
ко, Сергей Федорович Шербак

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ КОНВЕРСИИ ФОНОНОВ
НА ПОЗИТРОНАХ С ЭНЕРГИЕЙ $E=1035$ МэВ В АЛМАЗЕ

Ответственные за выпуск Б.И.Шраменко, Л.М.Ракивиненко
Корректор А.И.Нагорная

Подписано в печать 03.06.83 Т-10596. Формат 60x84/16.

Бум. писч. Офсетн. печ. 0,5 усл.п.л. 0,4 уч.-изд.л.

Тираж 250. Заказ 655. Цена 6 коп. Индекс 3624.

Харьков-108, ротационг ХФТИ АН УССР

6 коп.

Индекс 3624

Препринт ХФТИ 83-30, Харьков, 1983, 1-5.